

Docket No.: 50212-587

PATENT

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of : Customer Number: 20277  
Manabu SHIOZAKI, et al. : Confirmation Number:  
Serial No.: : Group Art Unit:  
Filed: April 02, 2004 : Examiner:  
:

For: DIFFRACTION GRATING ELEMENT, OPTICAL MODULE AND OPTICAL  
COMMUNICATIONS SYSTEM

**CLAIM OF PRIORITY AND**  
**TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop Patent Application  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

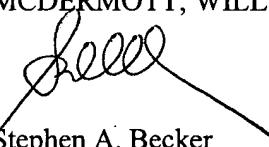
**Japanese Patent Application No. 2003-100566, filed April 3, 2003**  
and

**U.S. Provisional Patent Application No. 60/459,616, filed April 3, 2003**

cited in the Declaration of the present application. A Certified copy of the Japanese Patent Application is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

  
Stephen A. Becker  
Registration No. 26,527

600 13<sup>th</sup> Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3096  
(202) 756-8000 SAB:prg  
Facsimile: (202) 756-8087  
**Date: April 2, 2004**

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

50212-587  
Shiozaki et al.  
April 12, 2004

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office

出願年月日

Date of Application: 2003年 4月 3日

出願番号

Application Number: 特願2003-100566

[ST.10/C]:

[JP2003-100566]

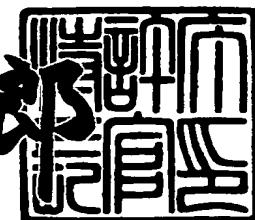
出願人

Applicant(s): 住友電気工業株式会社

2003年 4月 25日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一



出証番号 出証特2003-3030149

【書類名】 特許願

【整理番号】 103Y0120

【提出日】 平成15年 4月 3日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 5/18

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

【氏名】 塩▲崎▼ 學

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

【氏名】 茂原 政一

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 回折格子素子、光学モジュールおよび光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項1】 屈折率  $n_1$  の第1媒質と屈折率  $n_2$  (ただし、 $n_1 > n_2$ ) の第2媒質との間の界面に回折格子が形成され、

前記第1媒質および前記第2媒質のうち、一方が固体であって、他方が固体または液体であり、

前記回折格子の周期を  $\Lambda$  とし、前記回折格子の高さを  $H$  とし、前記回折格子における周期  $\Lambda$  に対する前記第1媒質の幅のデューティ比を  $f$  とし、 $(n_1 / n_2 - 1)H / \Lambda$  で表される規格化高さを  $H_{\text{norm}}$  としたときに、 $(H_{\text{norm}}, f)$  を座標値とする二次元平面上において、規格化高さ  $H_{\text{norm}}$  およびデューティ比  $f$  が、位置 (0.50, 0.32), 位置 (0.50, 0.75), 位置 (2.00, 0.90), 位置 (4.00, 0.90), 位置 (2.20, 0.76), 位置 (0.75, 0.32) および位置 (0.50, 0.32) を順に線分で結んで囲われる領域内、または、位置 (2.25, 0.20), 位置 (2.25, 0.44), 位置 (2.75, 0.44), 位置 (2.75, 0.20) および位置 (2.25, 0.20) を順に線分で結んで囲われる領域内にある、

ことを特徴とする回折格子素子。

【請求項2】  $(H_{\text{norm}}, f)$  を座標値とする二次元平面上において、規格化高さ  $H_{\text{norm}}$  およびデューティ比  $f$  が、位置 (0.60, 0.50), 位置 (0.60, 0.75), 位置 (2.00, 0.88), 位置 (2.40, 0.88), 位置 (1.50, 0.70), 位置 (1.10, 0.50) および位置 (0.60, 0.50) を順に線分で結んで囲われる領域内にあることを特徴とする請求項1記載の回折格子素子。

【請求項3】  $(H_{\text{norm}}, f)$  を座標値とする二次元平面上において、規格化高さ  $H_{\text{norm}}$  およびデューティ比  $f$  が、位置 (0.80, 0.62), 位置 (0.80, 0.65), 位置 (1.00, 0.75), 位置 (1.60, 0.82), 位置 (1.75, 0.82), 位置 (0.96, 0.60) および位置 (0.80, 0.62) を順に線分で結んで囲われる領域内にあることを特徴とする請求項1記載

の回折格子素子。

【請求項4】 周期Λが1.46μm以下であることを特徴とする請求項1記載の回折格子素子。

【請求項5】 屈折率比( $n_1/n_2$ )が1.25以上1.6以下であることを特徴とする請求項1記載の回折格子素子。

【請求項6】 請求項1記載の回折格子素子を含み、この回折格子素子により光を合波または分波することを特徴とする光学モジュール。

【請求項7】 前記回折格子素子の前記第2媒質における光の入射角または回折角が60度以下であることを特徴とする請求項6記載の光学モジュール。

【請求項8】 前記回折格子素子の前記第2媒質における光の入射角または回折角が25度以上35度以下であることを特徴とする請求項6記載の光学モジュール。

【請求項9】 請求項6記載の光学モジュールを含み、信号光を伝送するとともに、この光学モジュールにおいて信号光を合波または分波することを特徴とする光通信システム。

【請求項10】 前記光学モジュールに含まれる前記回折格子素子における回折格子のプラグ条件を信号光波長帯域内の何れかの波長において満たすことを特徴とする請求項9記載の光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、入射した光を波長に応じた角度で回折させる回折格子素子、この回折格子素子を含む光学モジュール、および、この光学モジュールを含む光通信システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

回折格子素子は、透明平板の一方の面または内部に回折格子が形成されたものである。この回折格子素子では、回折格子に入射した光は、その回折格子により回折される。そのときの光の回折角は波長によって異なる。したがって、この回

折格子素子は、入射した光を分波して出射する光分波器として用いられ得る。また、この回折格子素子は、上記の場合とは逆の方向に光を導く場合には、入射した光を合波して出射する光合波器として用いられ得る。さらに、回折格子素子と他の光学素子とを組み合わせることで、例えば、波長に応じて光の群遅延時間を調整する分散調整器を構成することもできる。したがって、回折格子素子は、多波長の信号光を多重化して伝送する波長分割多重（WDM: Wavelength Division Multiplexing）光通信システムにおいて重要な光デバイスの1つとなっている。

## 【0003】

一般的の回折格子素子は、透明平板に一方の面に回折格子が形成されたもの（以下「表面レリーフ型回折格子素子」という。）であり、その回折格子の形状を最適化することで、TE偏波光およびTM偏波光の双方に対して高い回折効率を実現することができる。また、特許文献1に開示された回折格子素子は、上記の表面レリーフ型回折格子素子の回折格子面に他の透明平板を張り合わせたもの（以下「貼り合せ構造型回折格子素子」という。）であり、TE偏波光およびTM偏波光の双方に対して高い回折効率を実現することができるとされている。また、特許文献2に開示された回折格子素子は、第1媒質と第2媒質との間の界面に回折格子が形成されたもの（以下「埋め込み構造型回折格子素子」という。）であり、このような構造とすることで回折効率の改善を意図したものである。

## 【0004】

## 【特許文献1】

米国特許出願公開第2002/0135876号明細書

## 【0005】

## 【特許文献2】

特開昭58-198006号公報

## 【0006】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、表面レリーフ型回折格子素子では、大きな角分散を得ようとすると、回折効率が低下し、また、偏波依存性および波長依存性が大きくなつて、

回折特性が悪化する。特許文献1に開示された貼り合せ構造型回折格子素子では、中心波長においてTE偏波光およびTM偏波光の双方に対して高い回折効率を得るための具体的な設計例が示されているが、波長帯域全域での回折特性を考慮しておらず、波長帯域を有するWDM光通信に用いるには不適切である。また、貼り合せ構造の一形態として埋め込み構造も開示されているが、TE偏波光およびTM偏波光の双方に対して高い回折効率を得る為の具体的な設計例は示されていない。また、特許文献2に開示された埋め込み構造型回折格子素子では、回折効率の改善を意図したとはいうものの、得られている回折効率は4.5%と低く、更に高い回折効率を得る為の具体的な設計例は示されていない。

## 【0007】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、大きな角分散および優れた回折特性を得ることができる回折格子素子を提供することを目的とする。

## 【0008】

## 【課題を解決するための手段】

本発明に係る回折格子素子は、(1)屈折率 $n_1$ の第1媒質と屈折率 $n_2$ （ただし、 $n_1 > n_2$ ）の第2媒質との間の界面に回折格子が形成され、(2)第1媒質および第2媒質のうち、一方が固体であって、他方が固体または液体であり、(3)回折格子の周期を $\Lambda$ とし、回折格子の高さを $H$ とし、回折格子における周期 $\Lambda$ に対する第1媒質の幅のデューティ比を $f$ とし、 $(n_1/n_2 - 1)H/\Lambda$ で表される規格化高さを $H_{norm}$ としたときに、 $(H_{norm}, f)$ を座標値とする二次元平面上において、規格化高さ $H_{norm}$ およびデューティ比 $f$ が、位置(0.50, 0.32), 位置(0.50, 0.75), 位置(2.00, 0.90), 位置(4.00, 0.90), 位置(2.20, 0.76), 位置(0.75, 0.32)および位置(0.50, 0.32)を順に線分で結んで囲われる領域内、または、位置(2.25, 0.20), 位置(2.25, 0.44), 位置(2.75, 0.44), 位置(2.75, 0.20)および位置(2.25, 0.20)を順に線分で結んで囲われる領域内にあることを特徴とする。このような回折格子素子は、角分散が大きく、Cバンドで優れた回折特性を有することができる。

## 【0009】

また、本発明に係る回折格子素子は、 $(H_{\text{norm}}, f)$  を座標値とする二次元平面上において、規格化高さ $H_{\text{norm}}$ およびデューティ比 $f$ が、位置(0.60, 0.50), 位置(0.60, 0.75), 位置(2.00, 0.88), 位置(2.40, 0.88), 位置(1.50, 0.70), 位置(1.10, 0.50)および位置(0.60, 0.50)を順に線分で結んで囲われる領域内にあるのが好適である。この場合には、回折格子素子は、角分散が大きく、CバンドだけでなくLバンドでも優れた回折特性を有する。

## 【0010】

また、本発明に係る回折格子素子は、 $(H_{\text{norm}}, f)$  を座標値とする二次元平面上において、規格化高さ $H_{\text{norm}}$ およびデューティ比 $f$ が、位置(0.80, 0.62), 位置(0.80, 0.65), 位置(1.00, 0.75), 位置(1.60, 0.82), 位置(1.75, 0.82), 位置(0.96, 0.60)および位置(0.80, 0.62)を順に線分で結んで囲われる領域内にあるのが好適である。この場合には、回折格子素子は、更に優れた回折特性を有する。

## 【0011】

また、本発明に係る回折格子素子は、周期 $\Lambda$ が $1.46 \mu\text{m}$ 以下であるのが好適である。この場合には、入射角が35度以上となって、埋め込み構造による効果が大きい。

## 【0012】

また、本発明に係る回折格子素子は、屈折率比 $(n_1/n_2)$ が1.25以上1.6以下であることのが好適である。この場合には、回折特性が特に優れる。

## 【0013】

本発明に係る光学モジュールは、上記の本発明に係る回折格子素子を含み、この回折格子素子により光を合波または分波することを特徴とする。この光学モジュールは、角分散が大きく優れた回折特性を有する回折格子素子を含むものであることから、小型であって、損失、偏波依存性および波長依存性が小さい。

## 【0014】

また、本発明に係る光学モジュールは、回折格子素子の第2媒質における光の

入射角または回折角が60度以下であるのが好適であり、また、25度以上35度以下であるのが更に好適である。この場合には、回折格子素子の回折特性が特に優れるので、光学モジュールの損失、偏波依存性および波長依存性が更に小さい。

## 【0015】

本発明に係る光通信システムは、上記の本発明に係る光学モジュールを含み、信号光を伝送するとともに、この光学モジュールにおいて信号光を合波または分波することを特徴とする。この光通信システムは、損失、偏波依存性および波長依存性が小さい光学モジュールを含むものであるので、高品質の光通信が可能である。

## 【0016】

また、本発明に係る光通信システムは、光学モジュールに含まれる回折格子素子における回折格子のブレッギ条件を信号光波長帯域内の何れかの波長において満たすのが好適である。この場合には、更に高品質の光通信が可能である。

## 【0017】

## 【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

## 【0018】

図1は、表面レリーフ型回折格子素子9の説明図である。この図は、回折光格子における各格子が延びる方向に回折格子素子9を見たときのものである。この図に示される回折格子素子9は、屈折率 $n_1$ の透明な平板である媒質91の一方の面に回折格子が形成されていて、その回折格子が形成されている面が屈折率 $n_0$ の媒質96に接し、他方の面に反射低減膜93が形成され、その反射低減膜93が屈折率 $n_0$ の媒質95に接している。

## 【0019】

この回折格子素子9において、回折格子の格子周期を $\Lambda$ とし、回折格子の高さを $H$ とし、回折格子における周期 $\Lambda$ に対する媒質91の幅のデューティ比を $f$ とする。また、媒質96から回折格子へ入射する光の入射角を $\theta$ とし、媒質91か

ら反射低減膜93を経て媒質95へ出射する透過1次回折光の回折角を $\phi$ とする。

## 【0020】

図2は、表面レリーフ型回折格子素子9の角分散と入射角 $\theta$ との関係を示すグラフである。ここで、角分散は透過1次回折光についてのものである。入射光の真空中での波長 $\lambda$ を $1.55\mu\text{m}$ とした。回折格子の周期 $\Lambda$ は、入射光の入射角 $\theta$ がプラッグ条件（すなわち、透過0次光および透過1次回折光それぞれの出射角が互いに等しくなる条件）を満たすように設定された。

## 【0021】

プラッグ条件は、

## 【0022】

## 【数1】

$$\Lambda = \left| \frac{\lambda}{2n_0 \sin \theta} \right| \quad \cdots (1)$$

なる式で表される。また、角分散Dは、

## 【0023】

## 【数2】

$$D = \left| \frac{d\phi}{d\lambda} \right| = \left| \frac{2n_0 \tan \theta}{\lambda} \right| \quad \cdots (2)$$

なる式で表される。

## 【0024】

なお、ここで、プラッグ条件を採用した理由は、回折格子では一般にプラッグ条件が満たされるときに高い回折効率が得られるからであり、また、透過0次光および透過1次回折光それぞれの出射角が互いに等しいことから、反射低減膜93の形成が容易であるからである。

## 【0025】

この図2から判るように、入射角 $\theta$ が大きいほど、角分散は大きく、回折格子

素子9からの距離が短くでも所望の波長分解能が得られる。したがって、入射角 $\theta$ が大きいほど、回折格子素子を含む光学モジュール（例えば、光分波器、光合波器、光フィルタ、分散調整器、など）を小型化することができる。

## 【0026】

図3は、表面レリーフ型回折格子素子9の回折特性と入射角 $\theta$ との関係を示すグラフである。ここで、回折特性は、

## 【0027】

## 【数3】

$$\text{評価関数} = \max\left(\frac{1-\eta_{\min}}{1-0.8}, \frac{\eta_{\max}-\eta_{\min}}{0.05}\right) \quad \cdots (3)$$

なる式で表される評価関数の値で評価された。この評価関数の中の $\eta_{\max}$ ,  $\eta_{\min}$ は、Cバンド（波長 $1.53 \mu\text{m} \sim 1.565 \mu\text{m}$ ）内の全波長および全偏波での透過1次回折光の回折効率の最大値、最小値である。評価関数値が小さいほど、回折特性が優れる。評価関数値が1以下であれば、通常のWDM光通信において要求される回折効率80%以上および偏波依存性5%以下を満たす。

## 【0028】

また、この図3では、回折格子の周期 $\Lambda$ は、Cバンドの中心波長 $\lambda_0$ においてプラッギ条件を満たすよう設定された。媒質9.5および媒質9.6それぞれの屈折率 $n_0$ を1とした。入射角 $\theta$ を20度から80度までの間で5度刻みとし、媒質9.1の屈折率 $n_1$ を1.05から3.0までの間で0.05刻みとし、中心波長で規格化した高さ $H/\lambda_0$ を0から5.0までの間で0.05刻みとし、デューティ比 $f$ を0から1までの間で0.02刻みとした。そして、これらのパラメータの各値の全ての組合せで、厳密結合波解析法（RCWA法：Rigorous Coupled-Wave Analysis）を用いたシミュレーションを行って評価関数値を求め、入射角 $\theta$ の各値について評価関数値の最小値を求めた。

## 【0029】

この図3から判るように、WDM光通信に用いるには入射角 $\theta$ を60度以下にしなければならず、特に入射角 $\theta$ が35度以上となると、回折特性の悪化が顕著

になる。すなわち、信号光波長帯域  $1.26 \mu\text{m} \sim 1.675 \mu\text{m}$ においては、上記(1)式から、回折格子の周期  $\Lambda$ が  $1.46 \mu\text{m}$ 以下である場合に、回折特性の悪化が顕著になる。

## 【0030】

図4は、本実施形態に係る回折格子素子1の説明図である。この図は、回折光格子における各格子が延びる方向に回折格子素子1を見たときのものである。この図に示される回折格子素子1は、埋め込み構造型のものであって、屈折率  $n_1$  の第1媒質11と屈折率  $n_2$  の第2媒質12との間に回折格子が形成されている。第1媒質11および第2媒質12のうち、一方は固体であって、他方は固体または液体である。第1媒質11の回折格子が形成されていない面に反射低減膜13が形成され、その反射低減膜13が屈折率  $n_0$  の媒質15に接している。また、第2媒質12の回折格子が形成されていない面に反射低減膜14が形成され、その反射低減膜14が屈折率  $n_0$  の媒質16に接している。各媒質の屈折率の大小関係は「 $n_1 > n_2 > n_0$ 」である。

## 【0031】

この回折格子素子1において、回折格子の格子周期を  $\Lambda$  とし、回折格子の断面形状を矩形として、回折格子の高さを  $H$  とし、回折格子における周期  $\Lambda$  に対する第1媒質11の幅のデューティ比を  $f$  とする。また、媒質16から反射低減膜14へ入射する光の入射角を  $\theta$  とし、第2媒質12から回折格子へ入射する光の入射角を  $\theta'$  とし、第1媒質11から反射低減膜13を経て媒質15へ出射する透過1次回折光の回折角を  $\phi$  とする。

## 【0032】

この図4に示された埋め込み構造型の回折格子素子1と、先に図1に示された表面レリーフ型の回折格子素子9とで、回折格子の周期  $\Lambda$  が等しく、入射光の波長  $\lambda$  が等しく、媒質15, 16, 95, 96 それぞれの屈折率  $n_0$  が等しく、また、媒質16, 96からの光の入射角  $\theta$  が等しければ、媒質15, 95へ出射される透過1次回折光の回折角および角分散も等しくなる。第2媒質12の屈折率  $n_2$  は、媒質16の屈折率  $n_0$  より大きいから、第2媒質12から回折格子への光の入射角  $\theta'$  は、媒質16からの光の入射角  $\theta$  より小さい。このことから、第2

媒質12から回折格子への光の入射角 $\theta'$ を60度以下にすることができる、特に、この入射角 $\theta'$ を25度~35度とすることで、図3から判るように、この回折格子素子1の回折特性および角分散を優れたものとすることができます。なお、図3は、 $n_0 = 1$ 、 $n_1 = 1.05 \sim 3$ の場合の計算の結果であるが、図1の $n_1$ を図4の $n_1/n_2$ に置き替えるとともに、図1の $\theta$ を図4の $\theta'$ に置き替えることで、図4に示された回折格子素子1の構成にも当てはまる。

## 【0033】

図5は、本実施形態に係る回折格子素子1において優れた回折特性が得られる規格化高さ $H_{norm}$ およびデューティ比 $f$ の範囲を示す図である。ここで、規格化高さ $H_{norm}$ は、

## 【0034】

## 【数4】

$$H_{norm} = \left( \frac{n_1}{n_2} - 1 \right) \frac{H}{\Lambda} \quad \cdots (4)$$

なる式で定義される。この式で、 $H/\Lambda$ に $(n_1/n_2 - 1)$ を乗じているのは、屈折率 $n_1$ と $n_2$ との差が大きいほど、回折格子の高さ $H$ が低くても高い回折効率を得ることができるからである。

## 【0035】

ここでは、回折格子の周期 $\Lambda$ はCバンドの中心波長 $\lambda_0$ においてプラグ条件を満たすよう設定し、第2媒質12から回折格子への光の入射角 $\theta'$ を20度から80度までの間で5度刻みとし、屈折率比 $(n_1/n_2)$ を1.05から3.0までの間で0.05刻みとし、中心波長で規格した高さ $n_2 H / \lambda_0$ を0から5.0までの間で0.05刻みとし、デューティ比 $f$ を0から1までの間で0.02刻みとした。そして、これらのパラメータの各値の全ての組合せでRCWA法を用いたシミュレーションを行なって、 $\eta_{min}$ および $\Delta\eta$  ( $= \eta_{max} - \eta_{min}$ ) それぞれを計算した。 $\eta_{max}$ 、 $\eta_{min}$ は、Cバンド内の全波長および全偏波での透過1次回折光の回折効率の最大値、最小値である。そして、 $\eta_{min}$ が0.8以上で $\Delta\eta$ が0.05以下となる条件を求めた。

## 【0036】

図5中の点は、優れた回折特性 ( $\eta_{\min} > 0.8$ ,  $\Delta\eta < 0.05$ ) が得られた条件 ( $H_{\text{norm}}$ ,  $f$ ) の位置を示し、図5中の領域A1および領域Bそれぞれは、上記の回折特性が得られた条件の範囲を示す。領域A1は、( $H_{\text{norm}}$ ,  $f$ ) を座標値とする二次元平面上において、位置 (0.50, 0.32), 位置 (0.50, 0.75), 位置 (2.00, 0.90), 位置 (4.00, 0.90), 位置 (2.20, 0.76), 位置 (0.75, 0.32) および位置 (0.50, 0.32) を順に線分で結んで囲われる領域である。また、領域Bは、( $H_{\text{norm}}$ ,  $f$ ) を座標値とする二次元平面上において、位置 (2.25, 0.20), 位置 (2.25, 0.44), 位置 (2.75, 0.44), 位置 (2.75, 0.20) および位置 (2.25, 0.20) を順に線分で結んで囲われる領域である。したがって、これら領域A1内または領域B内に規格化高さ  $H_{\text{norm}}$  およびデューティ比  $f$  が含まれるように各パラメータを設計することにより、Cバンドで優れた回折特性を有する回折格子素子1を実現することができる。

## 【0037】

図6は、本実施形態に係る回折格子素子1の回折特性と屈折率比 ( $n_1/n_2$ ) との関係を示すグラフである。ここで、回折特性は、上記(3)式で表される評価関数の値で評価された。この評価関数の中の  $\eta_{\max}$ ,  $\eta_{\min}$  は、Cバンド内の全波長および全偏波での透過1次回折光の回折効率の最大値、最小値である。また、この図6でも、回折格子の周期  $\Lambda$  は、Cバンドの中心波長  $\lambda_0$  においてプラグ条件を満たすよう設定された。第2媒質12から回折格子への入射角  $\theta'$  を20度から80度までの間で5度刻みとし、屈折率比 ( $n_1/n_2$ ) を1.05から3.0までの間で0.05刻みとし、中心波長で規格化した高さ  $n_2 H / \lambda_0$  を0から5.0までの間で0.05刻みとし、デューティ比  $f$  を0から1までの間で0.02刻みとした。そして、これらのパラメータの各値の全ての組合せで、RCWA法を用いたシミュレーションを行って評価関数値を求め、屈折率比 ( $n_1/n_2$ ) の各値について評価関数値の最小値を求めた。この図6から判るように、屈折率比 ( $n_1/n_2$ ) が1.85以下であれば、評価関数値が小さく好適であり、屈折率比 ( $n_1/n_2$ ) が1.25～1.6であるのが更に好適である。

## 【0038】

本実施形態に係る回折格子素子1は具体的には以下の手順で設計される。使用波長 $\lambda$ および角分散の要求値から、回折格子の周期 $\Lambda$ および媒質1.6からの光の入射角 $\theta$ が決定され、第2媒質1.2から回折格子への光の入射角 $\theta'$ が決定され、更に、回折特性(図6)および製造性の観点から所要の屈折率を有する第1媒質1.1および第2媒質1.2それぞれの材料が決定される。このようにして設計される回折格子素子1は、領域A1または領域Bに規格化高さ $H_{norm}$ およびデューティ比 $f$ が含まれて、優れた回折特性を有するものとなる。また、これまでの説明では入射光の波長帯域をCバンドとしたが、回折格子の各パラメータは相似則(例えば、中心波長が2倍になれば、周期 $\Lambda$ や高さ $H$ も2倍にすればよい。)を有するので、入射光の波長帯域を他のバンドとすることも容易である。

## 【0039】

図7は、本実施形態に係る回折格子素子1において更に優れた回折特性が得られる規格化高さ $H_{norm}$ およびデューティ比 $f$ の範囲を示す図である。この図中の領域A2は、 $(H_{norm}, f)$ を座標値とする二次元平面上において、位置(0.60, 0.50), 位置(0.60, 0.75), 位置(2.00, 0.88), 位置(2.40, 0.88), 位置(1.50, 0.70), 位置(1.10, 0.50)および位置(0.60, 0.50)を順に線分で結んで囲われる領域である。この領域A2は、Cバンドで $\eta_{min}$ が0.9以上で $\Delta\eta$ が0.025以下となる条件の範囲を示し、L(波長1.565μm～1.625μm)バンドで $\eta_{min}$ が0.85以上で $\Delta\eta$ が0.035以下となる条件の範囲を示し、CバンドおよびLバンドの双方に亘って $\eta_{min}$ が0.8以上で $\Delta\eta$ が0.05以下となる条件の範囲を示す。このような条件を満たす回折格子素子1を用いることにより、Cバンドだけでなく、Lバンドでも使用可能であり、また、CバンドおよびLバンドの双方に亘っても使用可能であり、さらに、Cバンドで高い回折効率を得ることができ、他の光学素子とともに用いられる場合に該光学素子が損失を有しても、全体としての損失を抑制することができ、通信エラーを抑制することができる。

## 【0040】

また、図7中の領域A3は、 $(H_{norm}, f)$ を座標値とする二次元平面上にお

いて、位置 (0.80, 0.62), 位置 (0.80, 0.65), 位置 (1.00, 0.75), 位置 (1.60, 0.82), 位置 (1.75, 0.82), 位置 (0.96, 0.60) および位置 (0.80, 0.62) を順に線分で結んで囲われる領域である。この領域 A3 は、C バンドで  $\eta_{min}$  が 0.97 以上となる条件の範囲を示し、L バンドで  $\eta_{min}$  が 0.965 以上となる条件の範囲を示し、C バンドおよび L バンドの双方に亘って  $\eta_{min}$  が 0.95 以上となる条件の範囲を示す。これらの場合の全てにおいて、 $\eta_{min}$  が 0.95 以上であるので、 $\Delta\eta$  が 0.05 以下である。このような条件を満たす回折格子素子 1 を用いることにより、他の光学素子とともに用いられる場合に該光学素子が損失を有しても、全体としての損失を充分に抑制することができ、通信エラーを格段に抑制することができる。

## 【0041】

なお、以上では第 2 媒質 12 から第 1 媒質 11 へ光が進む場合について説明したが、第 1 媒質 11 から第 2 媒質 12 へ光が進む場合についても同様である。また、以上ではブラッギ条件に限定して説明したが、これに限定されるものではなく、上記の領域 A1, A2 もしくは A3 または B に含まれる条件を満たすよう各パラメータを設計すれば、ブラッギ条件から外れていても、高い回折特性を有する回折格子素子を実現することができる。実際、以上の説明でも、中心波長ではブラッギ条件を満たすものの、中心波長と異なる波長ではブラッギ条件を満たしておらず、それでも、C バンドまたは L バンドで優れた回折特性が得られている。

## 【0042】

しかし、ブラッギ条件またはその近傍を満たすように設計すると、高い回折特性が得られる他、また、透過 0 次光、透過 1 次回折光および反射 1 次回折光それぞれの出射角が互いに等しいことから、反射低減膜 13, 14 の形成が容易である。ただし、ブラッギ条件を満たす波長では、反射 1 次回折光は入射光の進行方向と逆に進むので、これが実際の使用の上で不都合な場合がある。そこで、使用波長帯域内の何れかの波長でブラッギ条件を満たすものの、使用波長ではブラッギ条件を満たさないようにするのが好適である。例えば、使用波長を昇順に  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n, \lambda_{n+1}, \dots, \lambda_N$  とすると、ブラッギ条件を満たす波長を

$(\lambda_n + \lambda_{n+1})/2$  とすればよい。

## 【0043】

また、プラグ条件またはその近傍を満たすように設計するとともに、第2媒質12から回折格子への光の入射角 $\theta'$ を20度以上として、第1媒質11および第2媒質12それぞれの屈折率を

## 【0044】

## 【数5】

$$n_1 \leq 3n_2 \sin \theta' \quad \cdots (5)$$

なる関係式を満たすようにすることで、第1媒質11および第2媒質12で透過0次光、透過1次回折光および反射1次回折光のみが発生するので、反射低減膜13、14での他の回折光の反射に因る悪影響を抑制でき、この点でも優れた特性を得ることができる。また、第1媒質11および第2媒質12それぞれを波長と比べて充分に厚くする（例えば通信波長帯域の場合に厚みを5μm以上とする）ことで、反射低減膜13、14でのエバネッセント波の反射に因る悪影響を抑制でき、この点でも優れた特性を得ることができる。

## 【0045】

次に、本実施形態に係る回折格子素子1の製造方法および具体的構成について説明する。透明な固体材料からなる第1媒質11の表面にエッティングで溝加工し、透明な液体材料からなる第2媒質12で溝を埋め、或いは、透明な固体材料からなる第2媒質12を蒸着して溝を埋める。逆に、透明な固体材料からなる第2媒質12の表面にエッティングで溝加工し、透明な固体または液体の材料からなる第1媒質11で溝を埋めてもよい。なお、蒸着により溝を埋める場合には、溝の形状の影響により、蒸着された媒質の表面も周期的な凹凸が生じ易いので、蒸着された媒質の表面を研磨等して平坦にするのが好ましい。

## 【0046】

例えば、第2媒質12を石英ガラス（屈折率 $n_2 = 1.45$ ）からなるものとし、第1媒質11を $TiO_2$ 、 $Ta_2O_5$ または $Nb_2O_5$ （何れの材料でも屈折率 $n_1$

=2.0~2.2) からなるものとする。屈折率比 ( $n_1/n_2$ ) が 1.4~1.5 となり、図6より、評価関数値が小さく、回折特性が優れたものとなって好適である。媒質15, 16を空気(屈折率  $n_0=1$ ) とすると、第2媒質12から回折格子への光の入射角  $\theta'$  は、媒質16から反射低減膜14への光の入射角  $\theta$  より小さくなり、表面レリーフ型回折格子素子の場合と比較して、高い回折効率が得られる。特に、媒質16から反射低減膜14への光の入射角  $\theta$  が 40 度~55 度であれば、第2媒質12から回折格子への光の入射角  $\theta'$  が 25 度~35 度となり、図3より、評価関数値が小さく、回折特性が優れたものとなって好適である。

## 【0047】

また、第1媒質11として更に屈折率が高い材料(例えば半導体)を用い、この第1媒質11の表面にエッティングで溝加工し、第2媒質12を蒸着してもよい。例えば、第1媒質11は半導体(例えば屈折率  $n_1=3.5$  のシリコン)からなり、第2媒質12は  $TiO_2$  (屈折率  $n_2=2.2$ ) からなる。このとき、屈折率比 ( $n_1/n_2$ ) が 1.6 であり、媒質16から反射低減膜14への光の入射角  $\theta$  が 68 度以上であれば、第2媒質12から回折格子への光の入射角  $\theta'$  が 25 度~30 度となり、図3より、評価関数値が小さく、回折特性が優れたものとなり、また、更に大きな角分散が得られるので、好適である。

## 【0048】

以上の説明では、第1媒質11より屈折率が小さい第2媒質12から光が回折格子へ入射する場合について説明したが、第1媒質11から光が回折格子へ入射する場合についても同様である。また、以上の説明では、回折格子素子1が光分波器として動作するものとして回折格子素子1を説明してきたが、上記とは逆方向に光が進む場合には、この回折格子素子1は光合波器として動作することができる。このように、回折格子素子1は、光を入射または出射する光入出射ポートとともに、光学モジュールとして光分波器または光合波器を構成することができる。

## 【0049】

また、図8に示されるように、第1媒質11から媒質15へ出射する光を反射

させる反射鏡31～34とともに回折格子素子1が用いられる場合には、この回折格子素子1および反射鏡31～34を含む光学モジュール2は、入射した光を回折格子素子1により分波した後に、その分波した各波長の光を反射鏡31～34により反射させ、その反射した光を回折格子素子1により合波する。このとき、分波から合波に至るまでの各波長の光路長（すなわち、反射鏡31～34の位置）を適切に設定することにより、この光学モジュール2は、各波長の光の群遅延時間を調整する分散調整器として用いられ得る。なお、この光学モジュール2は光サーキュレータとともに用いられる（図11参照）。

#### 【0050】

また、図9に示されるように、第1媒質11から媒質15へ出射する光のパワーを検出する受光素子41～44とともに回折格子素子1が用いられる場合には、この回折格子素子1および受光素子41～44を含む光学モジュール3は、各波長の光のパワーを検出するスペクトル検出装置として用いられ得る。

#### 【0051】

また、図10に示されるように、上記の回折格子素子1と同様の構成の2つの回折格子素子1a, 1bならびに光アッテネータ51～54を含む光学モジュール4は、入射した光を回折格子素子1a（光分波器）により分波した後に、その分波した各波長の光に対して所定の損失を光アッテネータ51～54により付与し、その後に各波長の光を回折格子素子1b（光合波器）により合波する。この光学モジュール4は、光フィルタとして用いられ、また、光増幅器の利得を等化する利得等化器として用いられ得る。なお、図8に示される構成において、回折格子素子1と反射鏡31～34との間に光アッテネータを挿入することでも、光フィルタを実現することができる。

#### 【0052】

上述したような光学モジュールは、光分波器、光合波器、分散調整器、スペクトル検出装置および光フィルタ等として、WDM光通信システムにおいて好適に用いられる。これらの光学モジュールは、上記のような大きな角分散および優れた回折特性を有する本実施形態に係る回折格子素子1を含むものであることから、小型であって、損失、偏波依存性および波長依存性が小さい。

## 【0053】

また、これらの光学モジュールに含まれる回折格子素子1において、第1媒質11より屈折率が小さい第2媒質12における光の入射角または回折角が60度以下であるのが好適であり、第2媒質12における光の入射角または回折角が25度以上35度以下であれば更に好適である。これらの場合には、回折格子素子1の回折特性が特に優れるので、光学モジュールの損失、偏波依存性および波長依存性が更に小さい。

## 【0054】

次に、本発明に係る光通信システムの実施形態について説明する。図11は、本実施形態に係る光通信システム100の構成図である。この図に示される光通信システム100は、光送信器110、光中継器120および光受信器130を備えていて、光送信器110と光中継器120の間に光ファイバ伝送路140が敷設され、光中継器120と光受信器130の間に光ファイバ伝送路150が敷設されたものである。

## 【0055】

光送信器110は、光源111～114および光合波器115を備える。光源111～114は、互いに異なる波長の信号光を出力する。光合波器115は、これら光源111～114から出力された信号光を合波して、その合波した多波長の信号光を光ファイバ伝送路140へ出力する。

## 【0056】

光中継器120は、光増幅器121、利得等化器122、光カプラ123およびスペクトル検出装置124を備える。光増幅器121は、光ファイバ伝送路140により伝送されて到達した信号光を入力し、この信号光を光増幅して出力する。利得等化器122は、光増幅器121から出力された信号光を入力して、その信号光に対して波長に応じた損失を付与することで、光増幅器121の利得を等化する。光カプラ123は、利得等化器122から出力された信号光の一部を分岐してスペクトル検出装置124へ出力するとともに、残部を光ファイバ伝送路150へ出力する。スペクトル検出装置124は、光カプラ123から到達した信号光のパワーを波長毎にモニタする。そして、スペクトル検出装置124に

によるモニタ結果に基づいて、光増幅器121および利得等化器122それぞれの動作が制御される。

## 【0057】

光受信器130は、受光部131～134、光分波器135、光サーキュレータ136および分散調整器137を備える。光サーキュレータ136は、光ファイバ伝送路150により伝送されて到達した信号光を入力して、その信号光を分散調整器137へ出力する。また、光サーキュレータ136は、分散調整器137から到達した信号光を入力して、その信号光を光分波器135へ出力する。光分波器135は、分散調整器137から出力された多波長の信号光を入力し、その信号光を波長毎に分波して、各波長の信号光を受光部131～134へ出力する。受光部131～134は、光分波器135から到達した信号光を受信する。

## 【0058】

この光通信システム100は以下のように動作する。光送信器110においては、光源111～114それぞれから出力された信号光は、光合波器115により合波されて、光ファイバ伝送路140に出力される。光中継器120においては、光ファイバ伝送路140により伝送されて到達した多波長の信号光は、光増幅器121により光増幅され、利得等化器122により波長毎のパワーが均一にされて、光ファイバ伝送路150に出力される。また、光ファイバ伝送路150に出力される各波長の信号光のパワーがスペクトル検出装置124によりモニタされ、そのモニタ結果に基づいて光増幅器121および利得等化器122それぞれの動作が制御されて、光中継器120に到達する信号光の波数が変動した場合などにおいても、光ファイバ伝送路150に出力される各波長の信号光のパワーが均一にされる。光受信器130においては、光ファイバ伝送路150により伝送されて到達した多波長の信号光は、光サーキュレータ136を経て分散調整器137に入力し、この分散調整器137により分散補償され、再び光サーキュレータ136を経て光分波器135に入力する。光分波器135に入力した多波長の信号光は、光分波器135により波長毎に分波されて、受光部131～134により受信される。

## 【0059】

このような光通信システム100において、光合波器115および光分波器135それぞれとして上記の回折格子素子1が用いられ、利得等化器122として上記の光学モジュール4が用いられ、スペクトル検出装置124として上記の光学モジュール3が用いられ、また、分散調整器137として上記の光学モジュール2が用いられる。したがって、この光通信システム1は、各光学モジュールの損失、偏波依存性および波長依存性が小さいので、高品質の光通信が可能である。また、光通信システム100において、信号光波長帯域内の何れかの波長において、各光学モジュールに含まれる回折格子素子1における回折格子のプラグ条件を満たすのが好適であり、この場合には、更に高品質の光通信が可能である。

## 【0060】

## 【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る回折格子素子は、角分散が大きく、所定の波長帯域で優れた回折特性を有することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図1】

表面レリーフ型回折格子素子9の説明図である。

## 【図2】

表面レリーフ型回折格子素子9の角分散と入射角θとの関係を示すグラフである。

## 【図3】

表面レリーフ型回折格子素子9の回折特性と入射角θとの関係を示すグラフである。

## 【図4】

本実施形態に係る回折格子素子1の説明図である。

## 【図5】

本実施形態に係る回折格子素子1において優れた回折特性が得られる規格化高さ $H_{norm}$ およびデューティ比fの範囲を示す図である。

## 【図6】

本実施形態に係る回折格子素子1の回折特性と屈折率比( $n_1/n_2$ )との関係を示すグラフである。

【図7】

本実施形態に係る回折格子素子1において更に優れた回折特性が得られる規格化高さ $H_{norm}$ およびデューティ比fの範囲を示す図である。

【図8】

本実施形態に係る光学モジュール2の構成図である。

【図9】

本実施形態に係る光学モジュール3の構成図である。

【図10】

本実施形態に係る光学モジュール4の構成図である。

【図11】

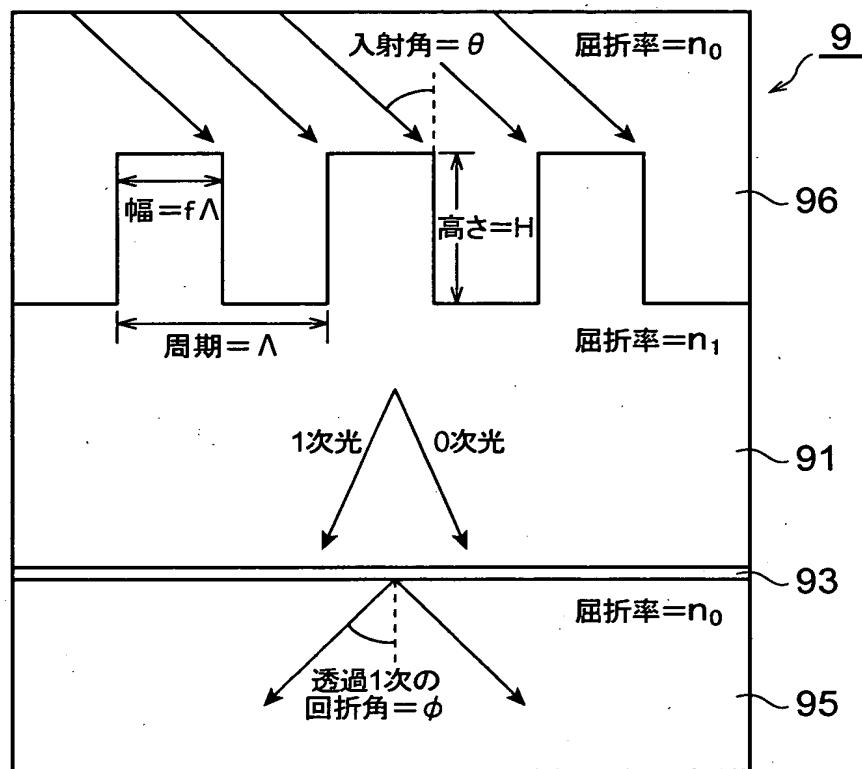
本実施形態に係る光通信システム100の構成図である。

【符号の説明】

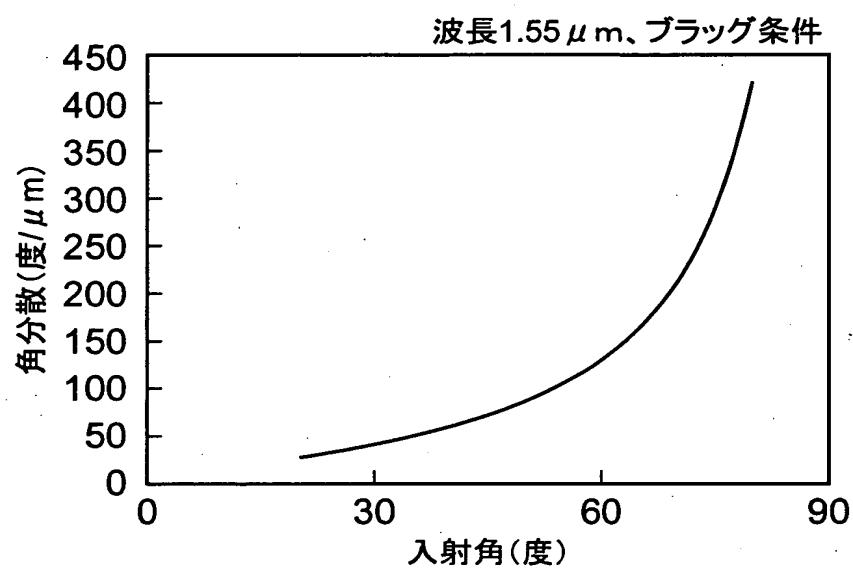
1…回折格子素子、2～4…光学モジュール、11…第1媒質、12…第2媒質、100…光通信システム。

【書類名】 図面

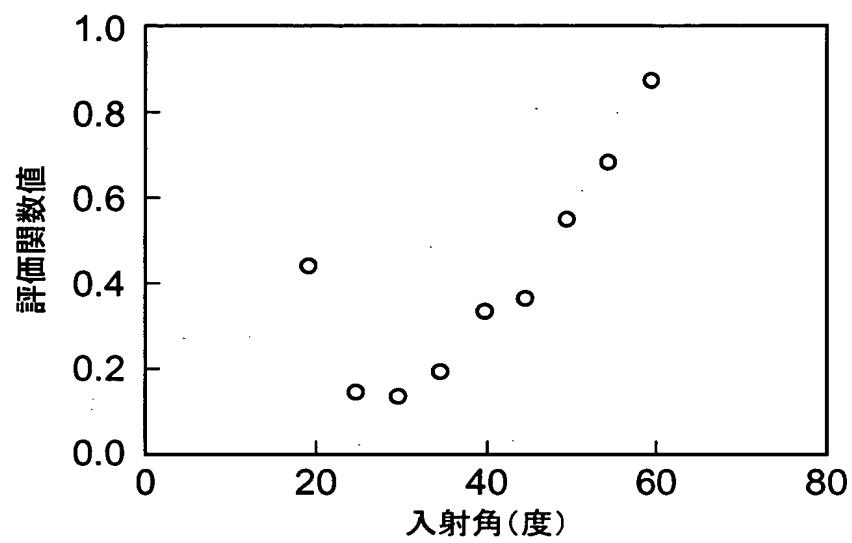
【図1】



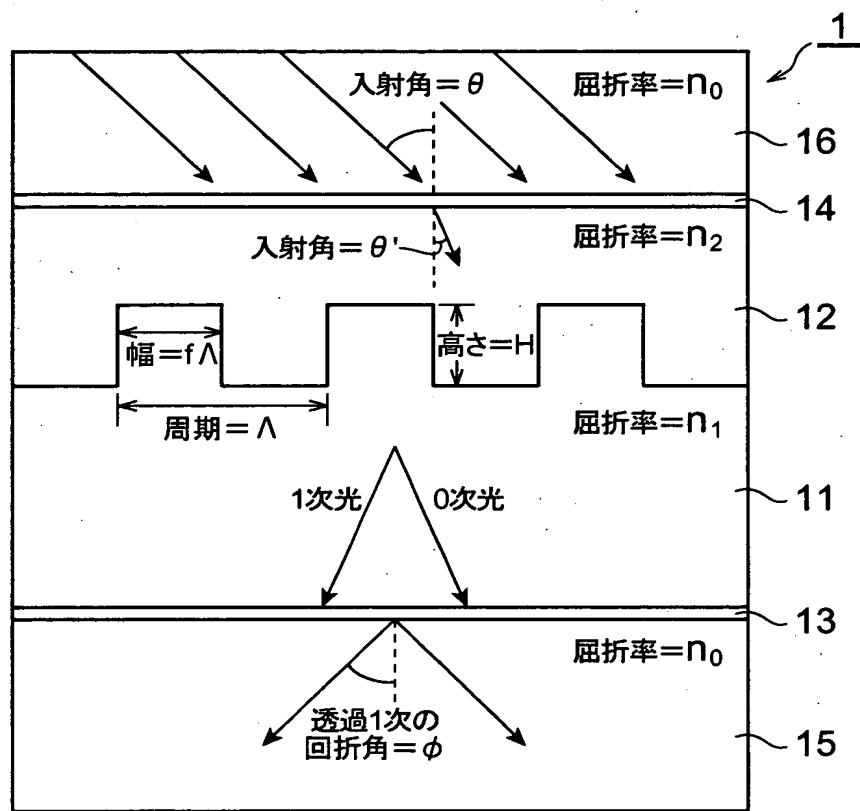
【図2】



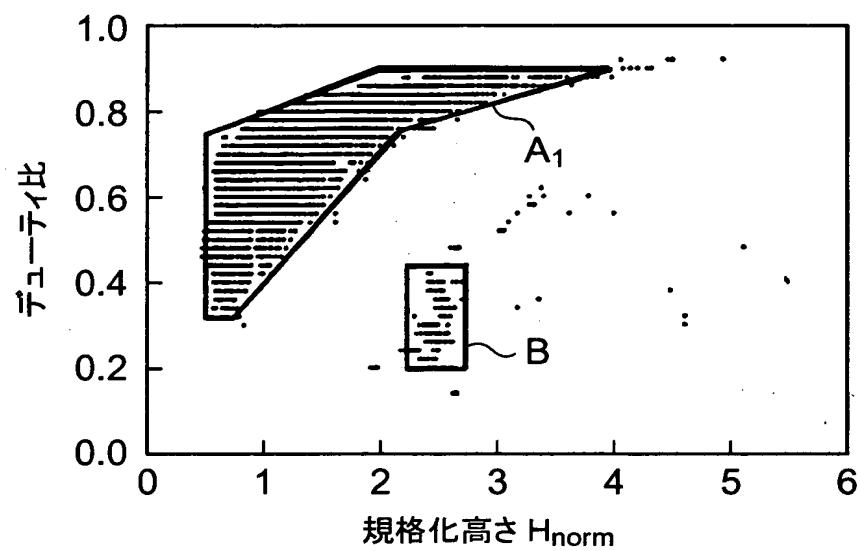
【図3】



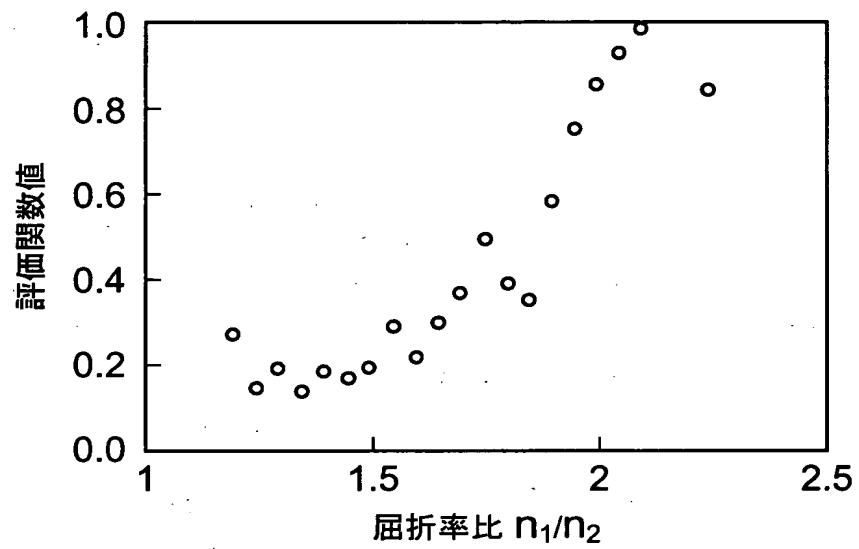
【図4】



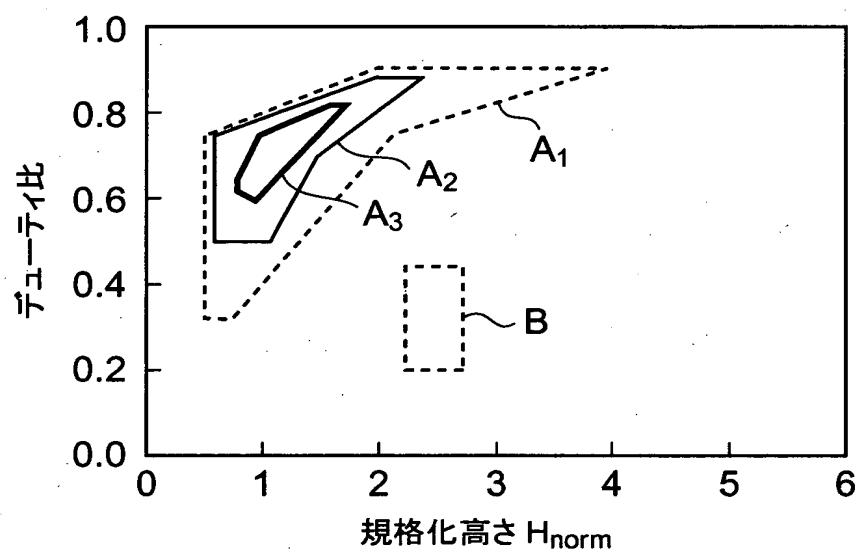
【図5】



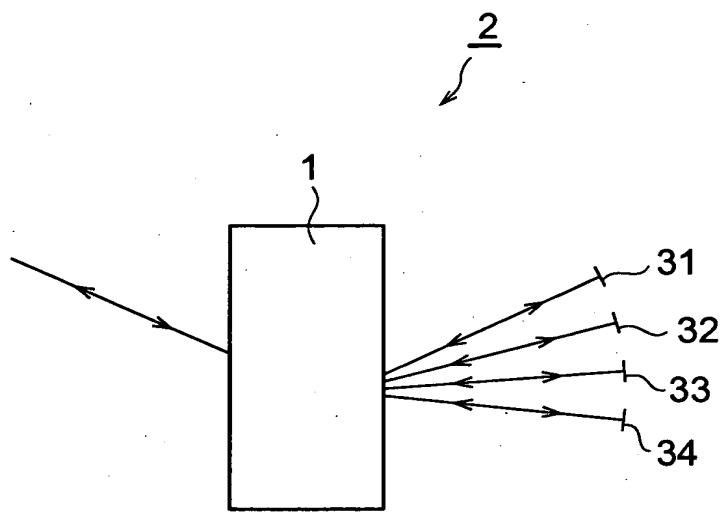
【図6】



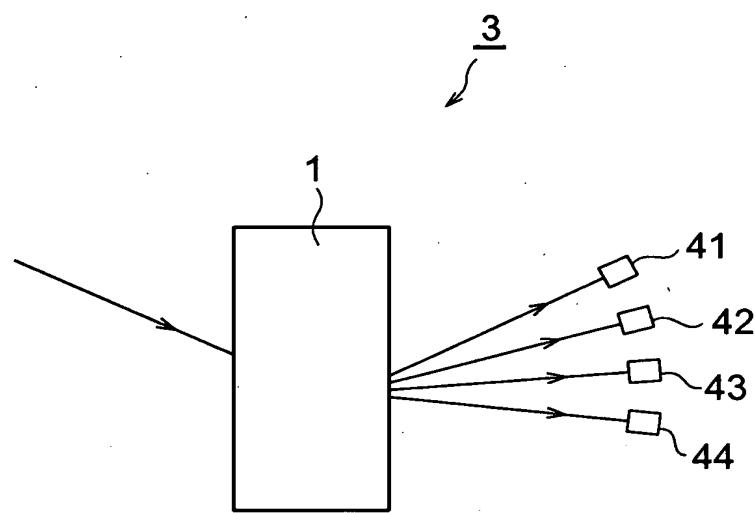
【図7】



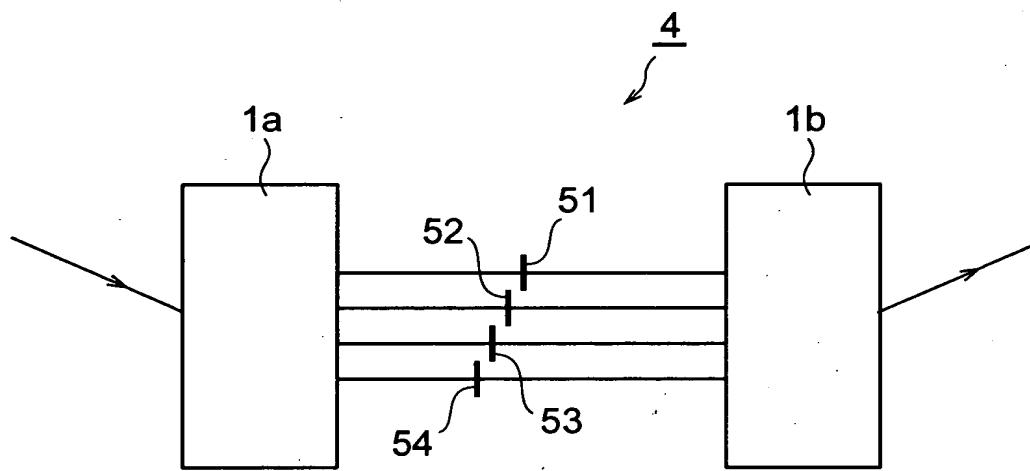
【図8】



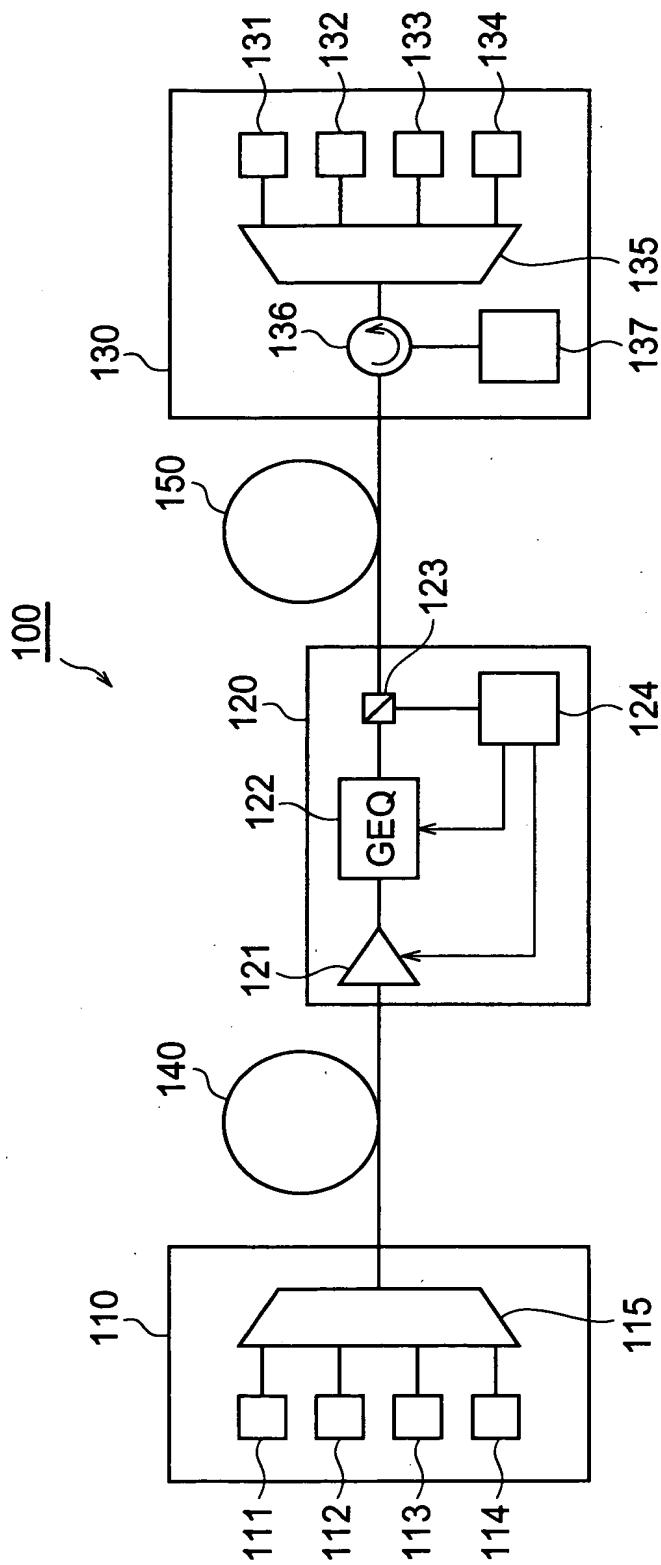
【図9】



【図10】



【図11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 大きな角分散および優れた回折特性を得ることができる回折格子素子を提供する。

【解決手段】

回折格子素子1は、埋め込み構造型のものであって、屈折率 $n_1$ の第1媒質11と屈折率 $n_2$ の第2媒質12との間に回折格子が形成されている。第1媒質11および第2媒質12のうち、一方は固体であって、他方は固体または液体である。第1媒質11の回折格子が形成されていない面に反射低減膜13が形成され、その反射低減膜13が屈折率 $n_0$ の媒質15に接している。また、第2媒質12の回折格子が形成されていない面に反射低減膜14が形成され、その反射低減膜14が屈折率 $n_0$ の媒質16に接している。各媒質の屈折率の大小関係は「 $n_1 > n_2 > n_0$ 」である。回折格子のパラメータが所定の範囲にある。

【選択図】 図4

出願人履歴情報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号  
氏 名 住友電気工業株式会社